

IB/2004/02618

BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 19 JUIL. 2004

DOCUMENT DE PRIORITÉ

PRÉSENTÉ OU TRANSMIS
CONFORMÉMENT À LA
RÈGLE 17.1.a) OU b)

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

BEST AVAILABLE COPY

INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

SIEGE
26 bis, rue de Saint-Petersbourg
75800 PARIS cedex 08
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23
www.inpi.fr



1er dépôt

**BREVET D'INVENTION
CERTIFICAT D'UTILITÉ**

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



N° 11354*03

26 bis, rue de Saint Pétersbourg - 75800 Paris Cedex 08

Pour vous informer : INPI DIRECT

☎ N° Indigo 0 825 83 85 87

0,15 € TTC/min

Télécopie : 33 (0)1 53 04 52 65

Réservé à l'INPI

**REQUÊTE EN DÉLIVRANCE
page 1/2****BR1**

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 540 @ W / 030103

REMISE DES PIÈCES DATE 21 JUL. 2003 ✓ LIEU 75 INPI PARIS N° D'ENREGISTREMENT 0308862 ✓ NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE PAR L'INPI 21 JUL. 2003 ✓		1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE Cabinet REGIMBEAU 20, rue de Chazelles 75847 PARIS CEDEX 17 FRANCE	
Vos références pour ce dossier (facultatif) 240550 D21190 JRC			
Confirmation d'un dépôt par télécopie		<input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie	
2 NATURE DE LA DEMANDE		Cochez l'une des 4 cases suivantes	
Demande de brevet		<input checked="" type="checkbox"/>	
Demande de certificat d'utilité		<input type="checkbox"/>	
Demande divisionnaire		<input type="checkbox"/>	
Demande de brevet initiale		N° _____ Date _____	
ou demande de certificat d'utilité initiale		N° _____ Date _____	
Transformation d'une demande de brevet européen <i>Demande de brevet initiale</i>		<input type="checkbox"/> N° _____ Date _____	
3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) PROCÉDE D'ESTIMATION DU TAUX DE COUVERTURE D'ILLUMINATION DANS LE DOMAINE MIGRE			
4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE		Pays ou organisation _____ N° _____ Date _____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date _____ Pays ou organisation _____ N° _____ <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
5 DEMANDEUR (Cochez l'une des 2 cases)		<input checked="" type="checkbox"/> Personne morale <input type="checkbox"/> Personne physique	
Nom ou dénomination sociale		COMPAGNIE GENERALE DE GEOPHYSIQUE	
Prénoms			
Forme juridique		SOCIÉTÉ ANONYME	
N° SIREN		969202241	
Code APE-NAF			
Domicile ou siège		Rue 1, rue Léon Migaux 91300 MASSY	
		Code postal et ville	
Pays		FRANCE	
Nationalité		Française	
N° de téléphone (facultatif)		N° de télécopie (facultatif)	
Adresse électronique (facultatif)			
<input type="checkbox"/> S'il y a plus d'un demandeur, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»			



BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE
page 2/2

BR2

REMISE DES PIÈCES DATE 21 JUIL 2003 LIEU 75 INPI PARIS N° D'ENREGISTREMENT 0308862 NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI		Réservé à l'INPI	
6 MANDATAIRE (s'il y a lieu) Nom 240550 JRC Prénom Cabinet ou Société Cabinet REGIMBEAU N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel Adresse Rue 20, rue de Chazelles Code postal et ville 75847 PARIS CEDEX 17 Pays N° de téléphone (facultatif) N° de télécopie (facultatif) Adresse électronique (facultatif)		DB 540 W / 030103 01 44 29 35 00 01 44 29 35 99 info@regimbeau.fr	
7 INVENTEUR (S) Les demandeurs et les inventeurs sont les mêmes personnes		<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non : Dans ce cas remplir le formulaire de Désignation d'inventeur(s)	
8 RAPPORT DE RECHERCHE Établissement immédiat ou établissement différé		Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation) <input checked="" type="checkbox"/> Établissement immédiat <input type="checkbox"/> Établissement différé	
Paiement échelonné de la redevance (en deux versements)		Uniquement pour les personnes physiques effectuant elles-mêmes leur propre dépôt <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES		Uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention (joindre un avis de non-imposition) <input type="checkbox"/> Obtenue antérieurement à ce dépôt pour cette invention (joindre une copie de la décision d'admission à l'assistance gratuite ou indiquer sa référence) : AG	
10 SÉQUENCES DE NUCLEOTIDES ET/OU D'ACIDES AMINÉS Le support électronique de données est joint La déclaration de conformité de la liste de séquences sur support papier avec le support électronique de données est jointe Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», Indiquez le nombre de pages jointes		<input type="checkbox"/> Cochez la case si la description contient une liste de séquences <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
11 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)		VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI M. ROCHET	

Le domaine d'application de l'invention est celui de la prospection sismique. L'invention concerne l'imagerie sismique, et plus particulièrement l'estimation du taux de couverture d'illumination dans le domaine 3D migré nécessaire pour l'obtention d'une image haute résolution, à amplitude réelle, de la structure du sous-sol.

La prospection sismique consiste d'une manière générale, à émettre dans le sous-sol, à l'aide d'une ou plusieurs sources sismiques, des ondes sismiques, à enregistrer en surface, en fonction du temps, des données sismiques correspondant aux ondes sismiques réfléchies sur les interfaces géologiques du sous-sol (encore appelées réflecteurs) à l'aide de récepteurs (encore appelés géophones ou hydrophones selon que l'on prospecte à terre ou en mer) puis à traiter ces données pour en extraire des informations utiles quant à la géologie du sous-sol.

Le traitement des données (encore appelées traces sismiques) enregistrées par les récepteurs permet en particulier de concevoir des images présentant des informations relatives à la géologie du sous-sol.

L'imagerie sismique à haute résolution, à amplitude réelle, a pour objectif de fournir une image du sous-sol qui est non perturbée notamment par les effets de la propagation du champ d'onde dans le sous-sol et par les effets de l'acquisition (on parle alors d'empreintes d'acquisition).

La représentation en image de la réflectivité acoustique du sous-sol est réalisée par un procédé dit de migration qui permet de restituer les formes correctes des interfaces géologiques. Les données sismiques sont pour cela converties depuis le domaine dans lequel elles sont acquises vers le domaine migré dans lequel les interfaces géologiques sont représentées à leurs véritables positions.

Dans le domaine migré, l'échelle verticale peut être le temps (on parle alors de migration temps ou « time migration » selon la terminologie anglo-saxonne) ou la profondeur (on parle alors de migration profondeur ou « depth migration » selon la terminologie anglo-saxonne).

La migration est généralement réalisée avant sommation (on parle alors de migration avant somme ou « pre-stack migration » selon la terminologie anglo-saxonne), avec un mappage direct du signal sismique depuis les traces sismiques vers le domaine migré.

5 L'identification précise de la géologie du sous-sol en un point particulier est directement reliée à la capacité de l'émission sismique à illuminer ce point. Si un point du sous-sol est hautement illuminé, le relevé sismique permet d'évaluer en toute vraisemblance la géologie du sous-sol en ce point. En revanche, si un point du sous-sol est peu illuminé, il est possible que le relevé sismique fournisse une
10 évaluation imprécise, voire incorrecte, de la géologie du sous-sol en ce point.

Afin d'obtenir une représentation précise du sous-sol, les amplitudes réelles de la réflexion de l'onde sismique sur un réflecteur doivent être parfaitement représentées.

Il est donc nécessaire, de connaître avec exactitude si un changement
15 d'amplitude en un point particulier du sous-sol est le résultat d'un changement dans la géologie du sous-sol en ce point ou le résultat d'une illumination particulière en ce point.

Mais l'illumination des réflecteurs est généralement non uniforme. Elle dépend en particulier :

- 20 - de la configuration de l'acquisition des données sismiques ;
- des variations latérales et verticales de la vitesse de propagation des ondes sismiques dans le sous-sol.

Afin d'obtenir une image haute résolution de la réflectivité du sous-sol, il est nécessaire, lors de la migration des réflexions sismiques, d'effectuer une
25 correction d'amplitude pour prendre en compte la non-uniformité d'illumination des réflecteurs.

Comme cela a déjà été exposé précédemment, cette correction (réalisée à l'aide d'un facteur de pondération) est nécessaire car :

- 30 - pour imager précisément la réflectivité du sous-sol, il faut corriger les distorsions en amplitude liées à la propagation du champ d'onde dans le sous-sol (divergence sphérique, absorption, directivité, etc.) ;

- pour améliorer la résolution de l'image de réflectivité, il faut prendre en compte la variabilité du taux de couverture d'illumination de migration pour chacune des inclinaisons d'un réflecteur qui sont prises en compte lors de la migration.

Le taux de couverture d'illumination correspond, pour un point image donné
5 du domaine migré, au nombre de paires (source, récepteur) dont les contributions pour la constitution de l'amplitude de l'image de réflectivité interfèrent constructivement (condition de phase stationnaire).

Il a été proposé dans le document :

« Bleistein, N. 1987, On the Imaging of Reflectors in the Earth: Geophysics,
10 Soc. Of Expl. Geophysics, 931-942 »,

une méthode permettant d'obtenir, pour une configuration régulière d'acquisition, un facteur de pondération d'amplitude permettant de réaliser une représentation haute résolution, en amplitude réelle de la réflectivité du sous-sol.

15 Cette méthode est une méthode « inverse » constituée d'une étape de modélisation (modélisation de traces sismiques à partir d'un modèle de réflectivité), suivie d'une étape de migration (depuis les traces sismiques modélisées, vers une réflectivité imagée), le facteur de pondération étant alors choisi de manière à obtenir une concordance parfaite entre la réflectivité imagée
20 et le modèle de réflectivité.

En suivant cette « méthode inverse » proposée par Bleistein, et comme cela est représenté sur la figure 1, il apparaît que :

- pour une configuration d'acquisition donnée (répartition des paires (source S, récepteur R)),
- 25 - pour un point image \vec{x} donné dans le domaine migré,
- pour une inclinaison de réflecteur donnée (indiquée par un vecteur \vec{p} de pendage),

le taux de couverture d'illumination $I(\vec{x}, \vec{p})$ est déterminé par le nombre de paires (source, récepteur) tel que leurs contributions de migration interfèrent
30 constructivement à l'image du réflecteur de pendage \vec{p} au point image \vec{x} .

Les expressions développées par Bleistein pour le taux de couverture d'illumination $I(\vec{x}, \vec{p})$ intègrent en une seule fois l'effet de la totalité de la configuration géométrique de l'acquisition.

Par conséquent, la méthode proposée par Bleistein ne peut être utilisée que pour une distribution régulière et paramétrique de l'ensemble des paires (source, récepteur).

Cette condition restrictive d'application en limite par conséquent l'utilisation à un nombre réduit de configurations d'acquisition.

Pour des configurations d'acquisition à géométries irrégulières, il est donc nécessaire de définir les taux de couverture d'illumination individuels $I(\vec{x}, \vec{p}, \vec{s}, \vec{r})$, pour chacune des paires (source \vec{s} , récepteur \vec{r}) impliquées dans la migration. Lesdits taux individuels contribuent bien entendu au taux de couverture d'illumination total $I(\vec{x}, \vec{p})$ selon
$$I(\vec{x}, \vec{p}) = \sum_{\vec{s}, \vec{r}} I(\vec{x}, \vec{p}; \vec{s}, \vec{r}).$$

L'étude conduite par Bleistein est toutefois à la base d'un nombre de développements qui ont eu pour but d'estimer le taux de couverture d'illumination dans le domaine migré, pour n'importe quelle configuration géométrique de l'acquisition, et pour n'importe quelle distribution des paires (source, récepteur).

Au cours des années, il a été proposé diverses approximations pour l'onde sismique, qui est l'élément clé pour l'estimation de la condition de phase stationnaire (condition d'interférence constructive).

Les premiers développements ont consisté à modéliser par lancer de rayons (« ray tracing » selon la terminologie anglo-saxonne), pour chacune des paires (source \vec{s} , récepteur \vec{r}), les points de réflexion spéculaires le long d'un horizon (carte 2D) sélectionné dans le domaine migré (3D).

Cette étape de modélisation de la réflexion permet de déterminer les quantités suivantes :

- La localisation des points de réflexion $\vec{x}_r(\vec{s}, \vec{r})$ le long de l'horizon sélectionné ;
- Le temps de trajet $t_r(\vec{x}_r; \vec{s}, \vec{r})$ de réflexion spéculaire ;

Le temps t_d de trajet de diffraction le long de l'horizon sélectionné peut alors être estimé par développement en série de Taylor du temps de trajet t_r de réflexion autour du point $\vec{x}_r(\vec{s}, \vec{r})$ de réflexion spéculaire (détermination des dérivées première et seconde $\vec{\nabla}_x t_r(\vec{x}_r)$ et $\Delta_{x,x} t_r(\vec{x}_r)$).

5 La figure 2 illustre cette procédure au cours de laquelle le temps de trajet de diffraction $t_d(\vec{x})$ au point image \vec{x} est estimé à l'aide du temps de trajet de réflexion $t_r(\vec{x}_r)$ et plus particulièrement par son développement en série de Taylor autour du point de réflexion spéculaire \vec{x}_r .

La sommation de tous les mappages d'ondelette obtenus pour chacune des paires (source, récepteur) permet ensuite d'estimer le taux de couverture d'illumination dans le domaine migré, le long de l'horizon sélectionné.

En modélisant l'ondelette sismique selon un pic impulsif, à bande de fréquence infinie, il a été montré dans le document :

15 « Cain, G., Cambois, G., Gehin, M. et Hall, R., 1998, Reducing risk in seismic acquisition and interpretation of complex targets using a Gocad-based 3-D modeling tool, 68th Ann. Internat. Mtg: Soc. of Expl. Geophys., 2072-2075 », qu'il est possible d'obtenir une carte d'impact, seule la contribution spéculaire sur un horizon sélectionné étant alors effectivement prise en compte.

En prenant en compte une approximation réaliste d'une ondelette sismique à bande limitée, il a été montré dans les documents :

- « Schneider, W., Jr and Winbow, G., 1999, Efficient and accurate modeling of 3D seismic illumination, 69th Ann. Internat. Mtg: Soc. Of Expl. Geophys, Expanded Abstract, 633-636 » ;
- « Laurain, R. et Vinje, V., 2001, Pre-stack migration and illumination maps, 25 71th Ann. Internat. Mtg: Soc. Of Expl. Geophys, Expanded Abstract, 929-932 » ;

qu'il est possible d'améliorer l'estimation du taux de couverture d'illumination le long d'horizons sélectionnés.

Ces approches, basées en particulier sur un balayage d'horizons sélectionnés, se sont montrées relativement fiables et précises. Leur efficacité est cependant limitée, notamment du fait que :

- la compensation du taux de couverture d'illumination est limitée à un nombre fini d'horizons sélectionnés et l'approche, au contraire de celle développée par Bleistein, n'est donc pas totalement 3D ;
- pour chacune des paires (source \vec{s} , récepteur \vec{r}) impliquées dans la migration, une étape de modélisation dédiée doit être réalisée après la migration. Or cette étape de modélisation, par lancer de rayons, pour la détermination des quantités $(\vec{x}_r, \vec{\nabla}_x t_r, \Delta_{x,x} t_r)$ mentionnées précédemment, le long de chacun des horizons sélectionnés, est particulièrement coûteuse en temps.

Afin de surmonter ces limitations, et de se rapprocher d'une approche volumique 3D, une solution, en deux étapes, pour l'estimation puis la compensation du taux de couverture d'illumination a été proposée, en particulier dans les documents :

- « Albertin, U., Bloor, R., Beasley, C., Chang, W., Jaramillo, H., Mobley, E. and Yingst, D., 1999, Aspects of true amplitude migration, 69th Ann. Internat. Mtg: Soc. Of Expl. Geophys, Expanded Abstract, 1247-1250 » ;
- « Audebert, F., Froidevaux, P. Huard, I., Nicoletis, L. and Svay-Lucas, J., 2000, A mutli angle toolbox for restored amplitude images and AVA gathers, 70th Ann. Internat. Mtg: Soc. Of Expl. Geophys, Expanded Abstract, 1020-1023 » .

La première étape consiste, dans le domaine migré, en une analyse du taux de couverture d'illumination multi-pendage utilisant les tables pré-établies pour la migration de Kirchhoff des temps de trajet de diffraction $t_d(\vec{x} ; \vec{s}, \vec{r})$.

Lors de la seconde étape, les inverses des taux de couverture d'illumination estimés sont utilisés afin de réaliser la sommation pondérée des données sismiques.

Pour chaque point image \vec{x} et pour toute une gamme de pendage \vec{p} de réflecteur, il a été proposé d'incrémenter un compteur d'occurrence d'illumination

$I(\bar{x}, \bar{p})$, chaque fois qu'une contribution de migration atteint le point image \bar{x} avec la composante \bar{p} de pendage.

De manière similaire à ce qui avait été proposé par Cain et al (cf. ci-dessus), le critère utilisé pour augmenter le compteur d'occurrence d'illumination prend en
5 compte un modèle impulsionnel, à bande de fréquence infinie, de l'ondelette sismique.

Cette approximation hautes fréquences est telle que, pour une composante de pendage donnée, seules les contributions de migration spéculaires correspondant à ladite composante de pendage sont prises en compte pour
10 l'estimation de l'illumination.

Et cette approximation hautes fréquences présente un certain nombre de limitations :

- l'estimation de l'illumination est biaisée puisque la nature à bande limitée du signal sismique n'est pas prise en compte°;
- 15 - Afin d'éviter la division par des zéros, les taux de couverture d'illumination sont rangés par classes de pendage. La taille des classes est toutefois un élément critique. Si la taille de la classe est trop petite, les risques d'instabilité numérique sont plus grands ; si la taille de la classe est trop grande, la précision quant à l'estimation de la couverture d'illumination est
20 diminuée.

L'invention vise un procédé d'estimation du taux de couverture d'illumination sismique dans le domaine 3D migré non sujet à ces limitations.

Plus précisément, l'invention a pour objectif de proposer un procédé qui prend en compte la nature à bande limitée du signal sismique afin d'estimer des
25 taux de couverture d'illumination plus réalistes, et qui, dans le même temps, résout le problème de la taille des classes.

A cet effet, l'invention propose, selon un premier aspect, un procédé d'estimation du taux $I(\bar{x}, \bar{p})$ de couverture d'illumination sismique dans le domaine 3D migré en un point image \bar{x} , pour un pendage de vecteur \bar{p} , caractérisé en ce
30 que, pour chaque paire (source \vec{s} , récepteur \vec{r}) du relevé sismique, il évalue le

taux $I(\vec{x}, \vec{p}; \vec{s}, \vec{r})$ de couverture d'illumination relatif à ladite paire (source \vec{s} , récepteur \vec{r}) par mise en œuvre des étapes de :

- détermination du temps de trajet de réflexion $t_r(\vec{x}_r(\vec{p}); \vec{s}, \vec{r})$ depuis la source \vec{s} , jusqu'au point de réflexion spéculaire \vec{x}_r sur le réflecteur plan passant par le point image \vec{x} et perpendiculaire au vecteur \vec{p} de pendage, puis de retour vers le réflecteur \vec{r} ,
- à partir du temps de trajet de diffraction $t_d(\vec{x}; \vec{s}, \vec{r})$ depuis la source \vec{s} jusqu'audit point image \vec{x} , puis de retour jusqu'au réflecteur \vec{r} ;
- d'incrémentation dudit taux $I(\vec{x}, \vec{p}; \vec{s}, \vec{r})$ de couverture d'illumination relatif à ladite paire (source \vec{s} , récepteur \vec{r}) en fonction de la différence entre le temps de trajet de diffraction $t_d(\vec{x}; \vec{s}, \vec{r})$ et le temps de trajet de réflexion $t_r(\vec{x}_r(\vec{p}); \vec{s}, \vec{r})$.

Des aspects préférés, mais non limitatifs du procédé selon le premier aspect de l'invention sont les suivants :

- le procédé comporte en outre une étape de sommation de chacun des taux $I(\vec{x}, \vec{p}; \vec{s}, \vec{r})$ de couverture d'illumination relatif à une paire (source \vec{s} , récepteur \vec{r}), de manière à déterminer le taux de couverture d'illumination total $I(\vec{x}, \vec{p}) = \sum_{\vec{s}, \vec{r}} I(\vec{x}, \vec{p}; \vec{s}, \vec{r})$,
- au cours de l'étape d'incrémentation, le taux $I(\vec{x}, \vec{p}; \vec{s}, \vec{r})$ de couverture d'illumination peut être incrémenté en utilisant une fonction d'incrémentation $i(t_d, t_r; \vec{s}, \vec{r})$, selon $I(\vec{x}, \vec{p}; \vec{s}, \vec{r}) = I(\vec{x}, \vec{p}; \vec{s}, \vec{r}) + i(t_d, t_r; \vec{s}, \vec{r})$,
- la fonction d'incrémentation i peut être fonction de l'ondelette sismique $s(t)$,
- la fonction d'incrémentation i peut s'exprimer en fonction de la dérivée selon le temps de l'ondelette sismique,
- il est envisagé de tenir compte d'une correction a priori $w(\vec{x}; \vec{s}, \vec{r})$ du taux de couverture d'illumination, correction qui est généralement mise en jeu lors de la migration,

- l'étape de détermination comprend le développement en série de Taylor, du second ordre, du temps de trajet de diffraction $t_d(\vec{x}; \vec{s}, \vec{r})$ autour du point image \vec{x} ,
- le point de réflexion spéculaire $\vec{x}_r(\vec{p})$ est déterminé le long dudit réflecteur de sorte que le temps de trajet de diffraction audit point réflexion spéculaire $\vec{x}_r(\vec{p})$ est stationnaire,
- l'étape de détermination utilise les cartes des isochrones de migration $t_d(\vec{x}; \vec{s}, \vec{r})$ spécifiées pour toute paire (source \vec{s} , récepteur \vec{r}) impliquée dans la migration et tout point image \vec{x} du domaine 3D migré,
- l'estimation du taux $I(\vec{x}, \vec{p})$ de couverture d'illumination sismique dans le domaine 3D migré est réalisé lors de la migration par sommation de Kirchhoff des données sismiques enregistrées au cours du relevé sismique 3D.

Selon un autre aspect, l'invention propose un procédé de correction des amplitudes des données sismiques enregistrées au cours d'une prospection sismique 3D afin de compenser l'effet d'une illumination non uniforme des réflecteurs du sous-sol, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes consistant à :

- estimer le taux de couverture d'illumination $I(\vec{x}, \vec{p})$ par le procédé selon le premier aspect de l'invention,
- utiliser l'inverse $I^{-1}(\vec{x}, \vec{p})$ dudit taux comme facteur de pondération à appliquer à chacune desdites amplitudes des données sismiques.

Selon encore un autre aspect, l'invention propose un procédé pour la sélection, en fonction de la cible d'une prospection sismique 3D, d'une géométrie d'acquisition parmi une pluralité de géométries d'acquisition, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes consistant à :

- déterminer, pour chacune des géométries d'acquisition considérées, le taux de couverture d'illumination $I(\vec{x}, \vec{p})$ par le procédé selon le premier aspect de l'invention,
- sélectionner la géométrie d'acquisition procurant le taux de couverture d'illumination optimum en fonction de la cible.

D'autres aspects, buts et avantages de l'invention apparaîtront mieux à la lecture de la description détaillée suivante d'une forme de réalisation préférée de celle-ci, donnée à titre d'exemple non limitatif et faite en référence aux dessins annexés sur lesquels :

- 5 - la figure 1, déjà commentée, illustre la contribution constructive ou non, en fonction de $s(t_d - t_r)$, de la trace sismique migrée à l'image du réflecteur penté en \vec{x} ;
- la figure 2, déjà commentée, illustre l'estimation réalisée dans le cadre de l'état de la technique du temps de trajet de diffraction au point image $t_d(\vec{x})$ à partir d'un développement en série de Taylor du temps de trajet de réflexion au point de réflexion spéculaire $t_r(\vec{x}_r)$;
- 10 - la figure 3 illustre le procédé selon l'invention selon lequel on estime le point de réflexion spéculaire \vec{x}_r ainsi que le temps de trajet de réflexion $t_r(\vec{x}_r)$ à partir d'un développement en série de Taylor du temps de trajet de diffraction au point image $t_d(\vec{x})$.
- 15 - La figure 4 est un organigramme présentant de manière schématique les principales étapes du procédé selon l'invention.

L'invention propose un procédé d'estimation du taux de couverture d'illumination dans le domaine migré $I(\vec{x}, \vec{p}; \vec{s}, \vec{r})$ pour n'importe quelle position migrée \vec{x} , n'importe quelle composante de pendage \vec{p} et n'importe quelle distribution des traces sismiques, en utilisant uniquement les quantités les plus basiques mises en jeu dans la migration par sommation de Kirchhoff, à savoir :

- les coordonnées (\vec{s}, \vec{r}) des paires (source, récepteur), \vec{s} représentant la position d'une source S et \vec{r} celle d'un récepteur R ;
- 25 • les cartes des isochrones de migration $t_d(\vec{x}; \vec{s}, \vec{r})$ pour chacune des paires (source \vec{s} , récepteur \vec{r}) impliquées dans la migration.

L'invention s'applique sans distinction à l'imagerie en temps et à l'imagerie en profondeur.

L'invention propose un procédé du type comprenant une étape de modélisation suivie d'une étape de migration.

En ce qui concerne l'étape de modélisation du point de réflexion \vec{x}_r et du temps de trajet de réflexion $t_r(\vec{x}_r)$, le procédé objet de l'invention applique la condition de phase stationnaire à un développement en série de Taylor des temps de trajet de diffraction $t_d(\vec{x})$.

L'ordre dudit développement est un développement du second ordre.

En ce qui concerne l'étape de migration, le procédé objet de l'invention utilise les cartes des isochrones de migration disponibles pour la migration classiquement réalisée par sommation de Kirchhoff.

Pour chacune des paires (source \vec{s} , récepteur \vec{r}), le taux de couverture d'illumination $l(\vec{x}, \vec{p}; \vec{s}, \vec{r})$ est mis à jour, en référence à la figure 3, selon l'équation suivante :

$$l(\vec{x}, \vec{p}; \vec{s}, \vec{r}) = l(\vec{x}, \vec{p}; \vec{s}, \vec{r}) + i(t_d, t_r; \vec{s}, \vec{r}) \quad \text{Equation (1)}$$

15 Avec

- \vec{x} , le point image dans le domaine migré $\vec{x} = (x_1, x_2, x_3)^T$;
- \vec{p} , le vecteur de pendage représentatif de la composante de pendage sélectionnée, $\vec{p} = (p_1, p_2, p_3)^T$;
- \vec{s} , les coordonnées de la source, $\vec{s} = (s_1, s_2, s_3)^T$;
- 20 • \vec{r} , les coordonnées du récepteur, $\vec{r} = (r_1, r_2, r_3)^T$;
- $t_d(\vec{x}; \vec{s}, \vec{r})$, le temps de trajet de diffraction depuis la source \vec{s} , jusqu'à la position migrée \vec{x} , et de retour jusqu'au récepteur \vec{r} (trajet indiqué par t_d sur la figure 3 et représenté en trait plein) ;
- $t_r(\vec{x}_r(\vec{p}); \vec{s}, \vec{r})$, le temps de trajet de réflexion depuis la source \vec{s} , jusqu'au point \vec{x}_r de réflexion spéculaire sur le réflecteur plan passant par le point image \vec{x} et perpendiculaire au vecteur \vec{p} de pendage, et de retour jusqu'au récepteur \vec{r} (trajet indiqué par t_r sur la figure 3 et représenté en trait pointillé)

- $i(td, tr; \vec{s}, \vec{r})$ est une fonction d'incrémentation dont l'expression sera détaillée ci-après.

Comme cela a déjà été mentionné précédemment, le procédé selon l'invention utilise avantageusement les cartes des isochrones de migration $t_d(\vec{x}; \vec{s}, \vec{r})$ mises en jeu dans la migration par sommation de Kirchhoff, pour chacune des paires (source \vec{s} , récepteur \vec{r}) impliquées dans la migration. Ces cartes sont ainsi des « données d'entrée » du procédé selon l'invention.

Il utilise également les dérivées première et seconde $\vec{\nabla}_x t_d(\vec{x}; \vec{s}, \vec{r})$, $\Delta_{x,x} t_d(\vec{x}; \vec{s}, \vec{r})$ des isochrones de migration lorsque celles-ci sont disponibles. Dans le cas contraire, lesdites dérivées ne sont pas des données d'entrée, mais peuvent être calculées dans le cadre du procédé selon l'invention.

La figure 4 est un organigramme représentant les différentes étapes du procédé selon un mode de réalisation préféré de l'invention.

Ledit procédé consiste à réaliser, pour chacune des paires (source \vec{s} , récepteur \vec{r}) impliquées dans la migration, une étape 1 mise en œuvre pour tout point image \vec{x} du domaine 3D migré.

Ladite étape 1 comprend, pour toute composante de pendage \vec{p} sélectionnée pour le calcul de l'illumination $I(\vec{x}, \vec{p}; \vec{s}, \vec{r})$, deux opérations 2, 3.

La première opération 2 consiste à déterminer le temps de trajet de réflexion $t_r(\vec{x}_r(\vec{p}); \vec{s}, \vec{r})$ au point de réflexion spéculaire $\vec{x}_r(\vec{p})$ sur le réflecteur plan passant par le point image \vec{x} et perpendiculaire au vecteur \vec{p} de pendage.

La détermination de l'opération 2 est réalisée à partir du temps de trajet de diffraction $t_d(\vec{x}; \vec{s}, \vec{r})$ connu des cartes des isochrones de migration.

La seconde opération 3 consiste à incrémenter le taux de couverture d'illumination dans le domaine migré $I(\vec{x}, \vec{p}; \vec{s}, \vec{r})$ d'une fonction d'incrémentation $i(td, tr; \vec{s}, \vec{r})$, ladite fonction d'incrémentation prenant en compte:

- la différence $\{ t_d(\vec{x}; \vec{s}, \vec{r}) - t_r(\vec{x}_r(\vec{p}); \vec{s}, \vec{r}) \}$ entre les temps de trajet mentionnés ci-dessus ;

- l'ondelette sismique $s(t)$,
- et, éventuellement, le terme d'amplitude de la migration $w(\bar{x}; \bar{s}, \bar{r})$.

A l'issue des opérations 2 et 3, le taux d'amplitude d'illumination $I(\bar{x}, \bar{p}; \bar{s}, \bar{r})$ est connu pour un point image \bar{x} donné et une composante \bar{p} de pendage.

5 En répétant les opérations mentionnées ci-dessus pour chacune des paires (source \bar{s} , récepteur \bar{r}), on détermine finalement le taux d'illumination dans le domaine migré $I(\bar{x}, \bar{p})$.

On additionne pour cela l'illumination relative à chacune des paires (source \bar{s} , récepteur \bar{r}) selon $I(\bar{x}, \bar{p}) = \sum_{\bar{s}, \bar{r}} I(\bar{x}, \bar{p}; \bar{s}, \bar{r})$.

10 Le point de réflexion \bar{x}_r , ainsi que le temps de trajet de réflexion t_r sont déterminés (au cours de l'opération 2 mentionnée ci-dessus) à partir d'une analyse en phase stationnaire, par un développement en série de Taylor, du second ordre, du temps de trajet de diffraction t_d autour du point image \bar{x} .

A partir de cette analyse (cf. équation (2) ci-dessous), on obtient les expressions suivantes pour \bar{x}_r et t_r (équations (3) et (4)) :

$$t_d(\bar{x}; \bar{s}, \bar{r}) = t_r(\bar{x}_r; \bar{s}, \bar{r}) + (\bar{\nabla}_x t_r)^T (\bar{x} - \bar{x}_r) + \frac{1}{2} (\bar{x} - \bar{x}_r)^T (\bar{\nabla}_{xx} t_r) (\bar{x} - \bar{x}_r) + \dots \quad \text{Equation (2)}$$

$$\bar{x}_r(\bar{p}) = \bar{x} - M \cdot F^{-1} \cdot \bar{b} \quad \text{Equation (3)}$$

$$20 \quad t_r(\bar{x}_r(\bar{p}); \bar{s}, \bar{r}) = t_d(\bar{x}; \bar{s}, \bar{r}) - \frac{1}{2} \cdot \bar{b}^T \cdot F^{-1} \cdot \bar{b} \quad \text{Equation (4)}$$

Où dans les équations (3) et (4),

- M est une matrice (3 x 2) décrite par deux vecteurs s'étendant le long du plan de réflexion. Ces deux vecteurs sont par conséquent perpendiculaires au vecteur de pendage \bar{p} .
- 25 • \bar{b} est un vecteur (2 x 1) des dérivées du second ordre du temps de trajet de diffraction le long du plan de réflexion,

$$\bar{b} = M^T \cdot (\bar{\nabla}_{xx} t_d) \quad \text{Equation (5)}$$

- F est une matrice (2 x 2) des dérivés du premier ordre du temps de trajet de diffraction le long du plan de réflexion,

$$F = M^T \cdot (\Delta_{x,x} t_d) \cdot M \quad \text{Equation (6)}$$

On décrit ci-après l'obtention des équations (3) et (4).

- 5 On précise ici que le vecteur \vec{p} de pendage représente le pendage apparent d'un réflecteur dans le domaine migré, ce réflecteur passant par le point image \vec{x} .

Le vecteur \vec{p} de pendage s'exprime ainsi selon :

$$\vec{p} = (\partial x_3 / \partial x_1, \partial x_3 / \partial x_2, 1) \quad \text{Equation (7a)}$$

- 10 $\partial x_3 / \partial x_1$ représente le pendage apparent le long de l'axe x_1 et $\partial x_3 / \partial x_2$, le pendage apparent selon l'axe x_2 .

Θ et ψ représentent respectivement l'inclinaison et l'azimut du réflecteur penté passant par le point image \vec{x} où l'illumination est évaluée.

On a ainsi les expressions suivantes:

$$\cos \theta = (1 + p_1 + p_2)^{-1/2} \quad \text{Equation (7b)}$$

- 15 $\text{tg} \psi = p_2 / p_1 \quad \text{Equation (7c)}$

A partir du développement en série de Taylor du temps de trajet de diffraction (connu de la carte des isochrones de migration), on a, comme on l'a vu précédemment :

$$t_d(\vec{x}_r) = t_d(\vec{x}) + (\vec{\nabla}_x t_d)^T (\vec{x}_r - \vec{x}) + \frac{1}{2} (\vec{x}_r - \vec{x})^T \cdot \Delta_{x,x} t_d \cdot (\vec{x}_r - \vec{x}) + \dots \quad \text{Equation (2)}$$

- 20 Le point de réflexion \vec{x}_r est tout d'abord estimé le long du plan de réflexion pour lequel le temps de trajet de diffraction est stationnaire (condition pour une réflexion spéculaire).

Afin de ne considérer que les positions appartenant au plan penté, on introduit un nouveau vecteur \vec{x}_p , tel que :

$$25 \quad \vec{x}_r = \vec{x} + M \vec{x}_p = \vec{x} + \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ -p_1 & -p_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{p1} \\ x_{p2} \end{pmatrix} \quad \text{Equation (7d)}$$

On note ici que, comme désiré, les deux vecteurs de la matrice M sont bien perpendiculaires au vecteur \vec{p} de pendage.

La réécriture de l'équation (2) en utilisant l'équation (7d) fournit l'expression suivante :

$$5 \quad t_d(\bar{x}_p) = t_d(\bar{x}) + (\bar{\nabla}_x t_d)^T M \bar{x}_p + \frac{1}{2} \bar{x}_p^T M^T \Delta_{x,x} t_d M \bar{x}_p + \dots \quad \text{Equation (7e)}$$

$$\text{soit : } t_d(\bar{x}_p) = t_d(\bar{x}) + \bar{b}^T \bar{x}_p + \frac{1}{2} \bar{x}_p^T F \bar{x}_p + \dots \quad \text{Equation (7f)}$$

Dans cette équation (7f) :

$$\bar{b}^T = (\bar{\nabla}_x t_d)^T M, \text{ d'où } \bar{b} = M^T (\bar{\nabla}_x t_d), \text{ et } F = M^T \Delta_{x,x} t_d M.$$

On en déduit par conséquent la position \bar{x}_{rp} pour laquelle le temps de trajet de diffraction $t_d(\bar{x}_p)$ est stationnaire :

$$\bar{\nabla}_{x_p} t_d(\bar{x}_p) \Big|_{\bar{x}_{rp}} = \vec{0}, \Rightarrow \bar{x}_{rp} = -F^{-1} \bar{b} \Rightarrow \bar{x}_r = \bar{x} + M \bar{x}_{rp} \quad \text{Equation (7g)}$$

En combinant les équations (7g) et (2), on obtient l'expression du temps de trajet de réflexion de l'équation (4) : $t_r = t_d(\bar{x}_r) \approx t_d(\bar{x}) - \frac{1}{2} \bar{b}^T F^{-1} \bar{b}$.

Comme cela a été exposé précédemment, la taux de couverture d'illumination est incrémenté, au cours de l'opération 3, en fonction de la différence entre le temps t_d de trajet de diffraction et temps t_r de trajet de réflexion.

Même si le temps de trajet de réflexion $t_r(\bar{x}_r(\vec{p}); \vec{s}, \vec{r})$ diffère du temps de trajet de diffraction $t_d(\bar{x}; \vec{s}, \vec{r})$, du fait de la nature à bande limitée des données sismiques, la migration de la réflexion ayant lieu à \bar{x}_r peut contribuer constructivement à l'image du réflecteur penté en \bar{x} .

La sélection entre contributions de migration illuminantes (interférences constructives) et contributions de migration non illuminantes (interférences destructives) est réalisée grâce la fonction d'incrémentation $i(t_d, t_r; \vec{s}, \vec{r})$.

Selon un mode de réalisation de l'invention, la fonction d'incrémentation s'exprime selon $i(t_d, t_r; \vec{s}, \vec{r}) = \dot{s}(t_d(\bar{x}; \vec{s}, \vec{r}) - t_r(\bar{x}_r(\vec{p}); \vec{s}, \vec{r}))$, où :

- $s(t)$ est l'ondelette sismique, qui peut être monochromatique, à bande limitée, ou à bande infinie et qui peut être choisie dépendante du temps et de l'espace,
- $\dot{s}(t)$ est la dérivée selon le temps de l'ondelette sismique $\dot{s}(t) = d[s(t)]/dt$,

5 Une dérivée temporelle est généralement appliquée à chacune des traces sismiques avant la migration de Kirchhoff (en temps ou en profondeur). Ainsi, notamment dans un souci d'uniformité des quantités étudiées, on choisit la dérivée $\dot{s}(t)$ selon le temps de l'ondelette sismique, au lieu de l'utilisation de l'ondelette sismique $s(t)$ elle-même.

10 Selon un autre mode de réalisation de l'invention, notamment lorsque les traces sismiques ne sont pas dérivées selon le temps, la fonction d'incrémentation prend en compte l'ondelette sismique $s(t)$ au lieu de la dérivée $\dot{s}(t)$ de celle-ci selon le temps ; on a alors $i(t_d, t_r; \bar{s}, \bar{r}) = s(t_d(\bar{x}; \bar{s}, \bar{r}) - t_r(\bar{x}, \bar{p}); \bar{s}, \bar{r})$.

15 Un terme de correction d'amplitude de la migration $w(\bar{x}; \bar{s}, \bar{r})$ est classiquement calculé lors de la migration, et prend notamment en compte une géométrie régulière d'acquisition.

Ce terme $w(\bar{x}; \bar{s}, \bar{r})$ peut donc être avantageusement utilisé dans le procédé selon l'invention, et agir comme « préconditionnement » à la correction réalisée par la détermination du taux de couverture d'illumination précédemment décrite.

20 La fonction d'incrémentation peut alors être pondérée par ce terme de préconditionnement, de sorte que le taux $I(\bar{x}, \bar{p}; \bar{s}, \bar{r})$ de couverture d'illumination relatif à une paire (source \bar{s} , récepteur \bar{r}) est incrémenté par :

$$i(t_d, t_r; \bar{s}, \bar{r}) \cdot w(\bar{x}; \bar{s}, \bar{r}).$$

25 L'évaluation du taux de couverture d'illumination dans le domaine migré selon l'invention est optimum puisque applicable à n'importe quelle géométrie d'acquisition.

Basé sur une approche inverse, le taux de couverture d'illumination $I(\bar{x}, \bar{p})$ estimé par l'invention concorde avec les résultats théoriques établis par Bleistein. Cela n'est pas le cas par les autres méthodes proposées afin de résoudre un

30 problème similaire.

Comme cela a déjà été exposé précédemment, l'évaluation du taux de couverture d'illumination proposé par l'invention utilise seulement les quantités basiques disponibles pour la migration classiquement réalisée par sommation de Kirchhoff.

5 De manière avantageuse, l'évaluation du taux de couverture d'illumination selon l'invention peut être réalisée tout en effectuant la migration des traces sismiques.

Cela n'est pas le cas de certaines des autres méthodes proposées (Schneider et al. ; Laurain et Vinje) pour lesquelles ladite évaluation est réalisée
10 post-migration.

Selon un autre aspect, l'invention propose également un procédé de correction des amplitudes des données sismiques enregistrées au cours d'une prospection sismique 3D afin de compenser de l'effet d'une illumination non uniforme des réflecteurs du sous-sol, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes
15 consistant à :

- estimer le taux de couverture d'illumination $I(\vec{x}, \vec{p})$ par le procédé selon le premier aspect de l'invention détaillé ci-dessus,
- utiliser l'inverse $I^{-1}(\vec{x}, \vec{p})$ dudit taux comme facteur de pondération à appliquer à chacune desdites amplitudes des données sismiques.

20 Selon encore un autre aspect, l'invention propose également un procédé pour la sélection, en fonction de la cible d'une prospection sismique 3D, d'une géométrie d'acquisition parmi une pluralité de géométries d'acquisition, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes consistant à :

- déterminer, pour chacune des géométries d'acquisition considérées, le taux
25 de couverture d'illumination $I(\vec{x}, \vec{p})$ estimé conformément au premier aspect de l'invention détaillé ci-dessus,
- sélectionner la géométrie d'acquisition procurant le taux de couverture d'illumination optimum en fonction de la cible

Enfin, on notera que le taux de couverture d'illumination $I(\vec{x}, \vec{p})$ estimé
30 conformément au premier aspect de l'invention détaillé ci-dessus, peut aussi être



utilisé après la migration, pour éliminer les empreintes d'acquisition, ainsi que pour déconvoluer l'image migrée.

REVENDEICATIONS

1. Procédé d'estimation du taux $I(\vec{x}, \vec{p})$ de couverture d'illumination sismique dans le domaine 3D migré en au moins un point image \vec{x} , pour au moins un pendage de vecteur \vec{p} ,

caractérisé en ce que, pour chaque paire (source \vec{s} , récepteur \vec{r}) du relevé sismique, on évalue le taux $I(\vec{x}, \vec{p}; \vec{s}, \vec{r})$ de couverture d'illumination relatif à ladite paire (source \vec{s} , récepteur \vec{r}) par mise en œuvre des étapes de :

- détermination du temps de trajet de réflexion $t_r(\vec{x}_r(\vec{p}); \vec{s}, \vec{r})$ depuis la source \vec{s} jusqu'au point de réflexion spéculaire \vec{x}_r sur le réflecteur plan passant par le point image \vec{x} et perpendiculaire au vecteur \vec{p} de pendage, puis de retour vers le réflecteur \vec{r} ,
à partir du temps de trajet de diffraction $t_d(\vec{x}; \vec{s}, \vec{r})$ depuis la source \vec{s} jusqu'audit point image \vec{x} , puis de retour jusqu'au réflecteur \vec{r} ;
- d'incrémentation dudit taux $I(\vec{x}, \vec{p}; \vec{s}, \vec{r})$ de couverture d'illumination relatif à ladite paire (source \vec{s} , récepteur \vec{r}) en fonction de la différence entre le temps de trajet de diffraction $t_d(\vec{x}; \vec{s}, \vec{r})$ et le temps de trajet de réflexion $t_r(\vec{x}_r(\vec{p}); \vec{s}, \vec{r})$.

2. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce qu'il comporte en outre une étape de sommation de chacun desdits taux $I(\vec{x}, \vec{p}; \vec{s}, \vec{r})$ de couverture d'illumination relatif à une paire (source \vec{s} , récepteur \vec{r}), de manière à déterminer le taux de couverture d'illumination total $I(\vec{x}, \vec{p}) = \sum_{\vec{s}, \vec{r}} I(\vec{x}, \vec{p}; \vec{s}, \vec{r})$.

3. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que, au cours de l'étape d'incrémentation, le taux $I(\bar{x}, \bar{p}; \bar{s}, \bar{r})$ de couverture d'illumination est incrémenté en utilisant une fonction d'incrémentation $i(t_d, t_r; \bar{s}, \bar{r})$, selon $I(\bar{x}, \bar{p}) = I(\bar{x}, \bar{p}) + i(t_d, t_r; \bar{s}, \bar{r})$, ladite fonction d'incrémentation prenant en compte la différence entre le temps de trajet de diffraction $t_d(\bar{x}; \bar{s}, \bar{r})$ et le temps de trajet de réflexion $t_r(\bar{x}_r(\bar{p}); \bar{s}, \bar{r})$.

4. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que la fonction d'incrémentation i est fonction de l'ondelette sismique $s(t)$.

5. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que la fonction d'incrémentation i s'exprime en fonction de l'ondelette sismique $s(t)$ selon :

$$i(t_d, t_r; \bar{s}, \bar{r}) = s(t_d(\bar{x}; \bar{s}, \bar{r}) - t_r(\bar{x}_r(\bar{p}); \bar{s}, \bar{r})).$$

6. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que la fonction d'incrémentation i s'exprime en fonction de la dérivée $\dot{s}(t)$ selon le temps de l'ondelette sismique $s(t)$ selon :

$$i(t_d, t_r; \bar{s}, \bar{r}) = \dot{s}(t_d(\bar{x}; \bar{s}, \bar{r}) - t_r(\bar{x}_r(\bar{p}); \bar{s}, \bar{r})).$$

7. Procédé selon l'une des revendications 3 à 6, dans lequel la migration met en jeu une correction a priori $w(\bar{x}; \bar{s}, \bar{r})$ du taux de couverture d'illumination, caractérisé en ce que le taux $I(\bar{x}, \bar{p}; \bar{s}, \bar{r})$ de couverture d'illumination relatif à une paire (source \bar{s} , récepteur \bar{r}) est incrémenté de $i(t_d, t_r; \bar{s}, \bar{r}) \cdot w(\bar{x}; \bar{s}, \bar{r})$.

8. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'étape de détermination comprend le développement en série de Taylor, du second ordre, du temps de trajet de diffraction $t_d(\vec{x}; \vec{s}, \vec{r})$ autour du point image \vec{x} :

$$t_d(\vec{x}_r; \vec{s}, \vec{r}) = t_d(\vec{x}; \vec{s}, \vec{r}) + (\vec{\nabla}_x t_d(\vec{x}; \vec{s}, \vec{r}))^T \cdot (\vec{x}_r - \vec{x}) + \frac{1}{2} (\vec{x}_r - \vec{x})^T \cdot \Delta_{x,x} t_d(\vec{x}; \vec{s}, \vec{r}) \cdot (\vec{x}_r - \vec{x})$$

9. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que le point de réflexion spéculaire $\vec{x}_r(\vec{p})$ est déterminé le long dudit réflecteur de sorte que le temps de trajet de diffraction audit point réflexion spéculaire $\vec{x}_r(\vec{p})$ soit stationnaire, selon : $\vec{p}^T \wedge (\vec{\nabla}_x t_d(\vec{x}; \vec{s}, \vec{r}) + \Delta_{x,x} t_d(\vec{x}; \vec{s}, \vec{r}) \cdot (\vec{x}_r(\vec{p}) - \vec{x})) = \vec{0}$.

10. Procédé selon les deux revendications précédentes, caractérisé en ce que le point de réflexion spéculaire \vec{x}_r et le temps de trajet de réflexion $t_r(\vec{x}_r(\vec{p}); \vec{s}, \vec{r})$ sont évalués selon les expressions suivantes:

$$\vec{x}_r(\vec{p}) = \vec{x} - M \cdot F^{-1} \cdot \vec{b};$$

$$t_r(\vec{x}_r(\vec{p}); \vec{s}, \vec{r}) = t_d(\vec{x}; \vec{s}, \vec{r}) - \frac{1}{2} \cdot \vec{b}^T \cdot F^{-1} \cdot \vec{b},$$

dans lesquelles,

- M, une matrice (3×2) décrite par deux vecteurs s'étendant le long du réflecteur, et donc perpendiculaires au vecteur \vec{p} de pendage ;
- \vec{b} , un vecteur (2×1) des dérivés du premier ordre du temps de trajet de diffraction le long du plan de réflexion : $\vec{b} = M^T \cdot (\vec{\nabla}_x t_d)$
- F est une matrice (2×2) des dérivés du second ordre du temps de trajet de diffraction le long du plan de réflexion : $F = M^T \cdot (\Delta_{x,x} t_d) \cdot M$.



11. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'étape de détermination utilise les cartes des isochrones de migration $t_d(\vec{x}; \vec{s}, \vec{r})$ spécifiées pour toute paire (source \vec{s} , récepteur \vec{r}) impliquée dans la migration en tout point image \vec{x} du domaine 3D migré.
12. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'estimation du taux $I(\vec{x}, \vec{p})$ de couverture d'illumination sismique dans le domaine 3D migré est réalisé lors de la migration par sommation de Kirchhoff des données sismiques enregistrées au cours de la prospection sismique 3D.
13. Procédé de correction des amplitudes des données sismiques enregistrées au cours d'une prospection sismique 3D afin de compenser de l'effet d'une illumination non uniforme des réflecteurs du sous-sol, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes consistant à :
- estimer le taux de couverture d'illumination $I(\vec{x}, \vec{p})$ par le procédé selon l'une des revendications 1 à 12 ;
 - utiliser l'inverse $I^{-1}(\vec{x}, \vec{p})$ dudit taux comme facteur de pondération à appliquer à chacune desdites amplitudes des données sismiques.
14. Procédé pour la sélection, en fonction de la cible d'une prospection sismique 3D, d'une géométrie d'acquisition parmi une pluralité de géométries d'acquisition, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes consistant à :
- déterminer, pour chacune des géométries d'acquisition considérées, le taux de couverture d'illumination $I(\vec{x}, \vec{p})$ par le procédé selon l'une des revendications 1 à 12 ;
 - sélectionner la géométrie d'acquisition procurant le taux de couverture d'illumination optimum en fonction de la cible.

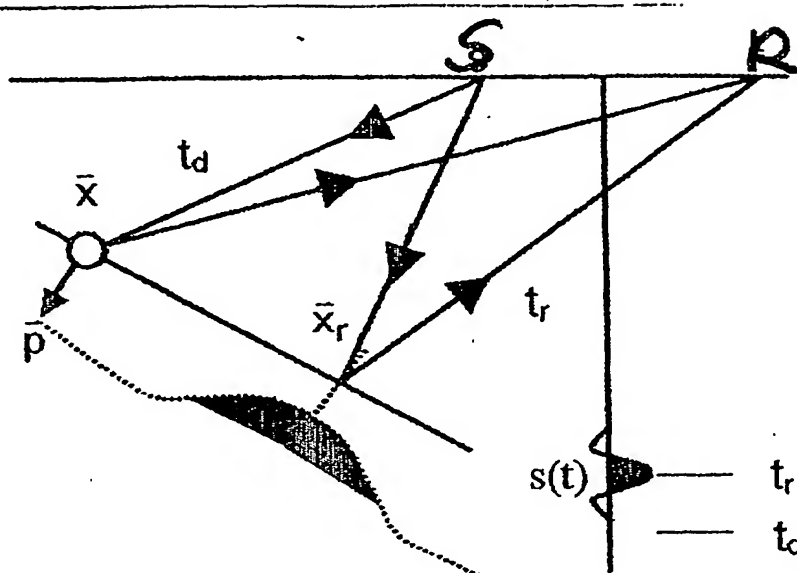


Figure 1

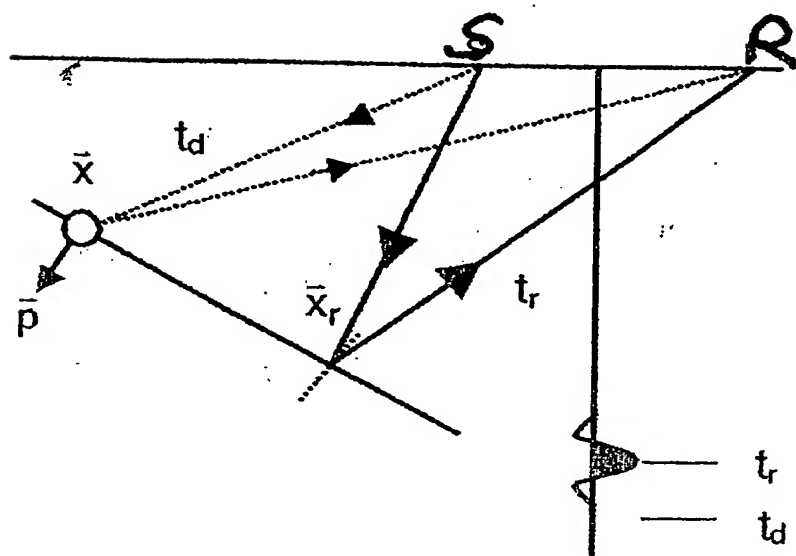


Figure 2

2/3

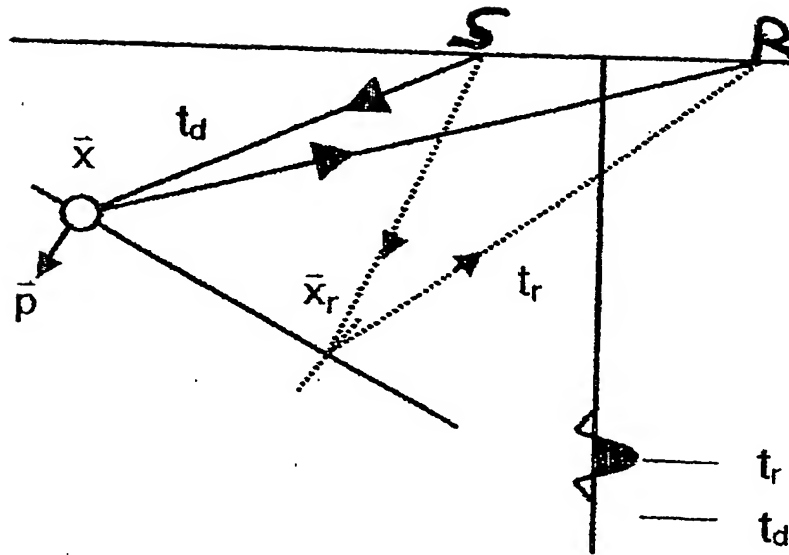
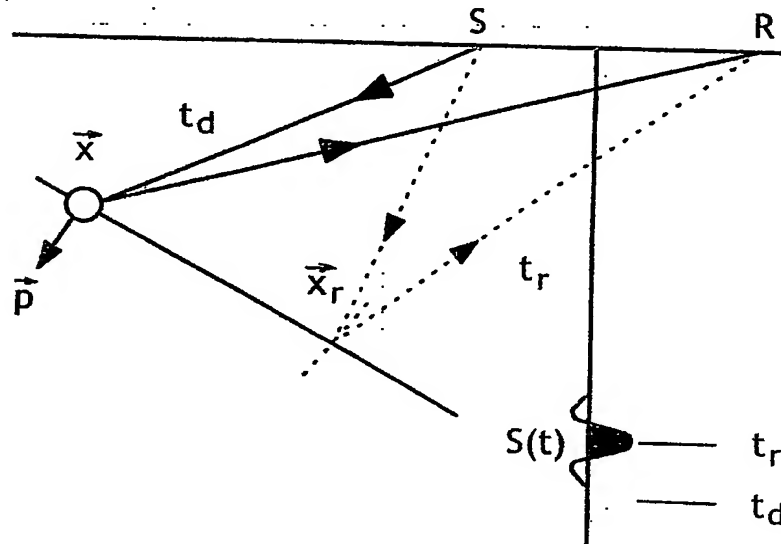


Figure 3



2/3

FIG.3

3/3

Pour chacune des paires (source \vec{s} , récepteur \vec{r}) impliquées dans la migration

Pour tout point image \vec{x} dans le domaine migré

1 Pour toute composante de pendage \vec{p} sélectionnée pour le calcul de l'illumination $I(\vec{x}, \vec{p}; \vec{s}, \vec{r})$

2 Détermination du temps de trajet de réflexion $t_r(\vec{x}_r(\vec{p}); \vec{s}, \vec{r})$ au point de réflexion spéculaire \vec{x}_r sur le réflecteur plan passant par le point image \vec{x} et perpendiculaire au vecteur \vec{p} de pendage

3 Incrémentation du taux $I(\vec{x}, \vec{p}; \vec{s}, \vec{r})$ de couverture d'illumination relatif à la paire (source \vec{s} , récepteur \vec{r}) en fonction de la différence entre :

le temps de trajet de diffraction $t_d(\vec{x}; \vec{s}, \vec{r})$ et
le temps de trajet de réflexion $t_r(\vec{x}_r(\vec{p}); \vec{s}, \vec{r})$.

Figure 4

3/3

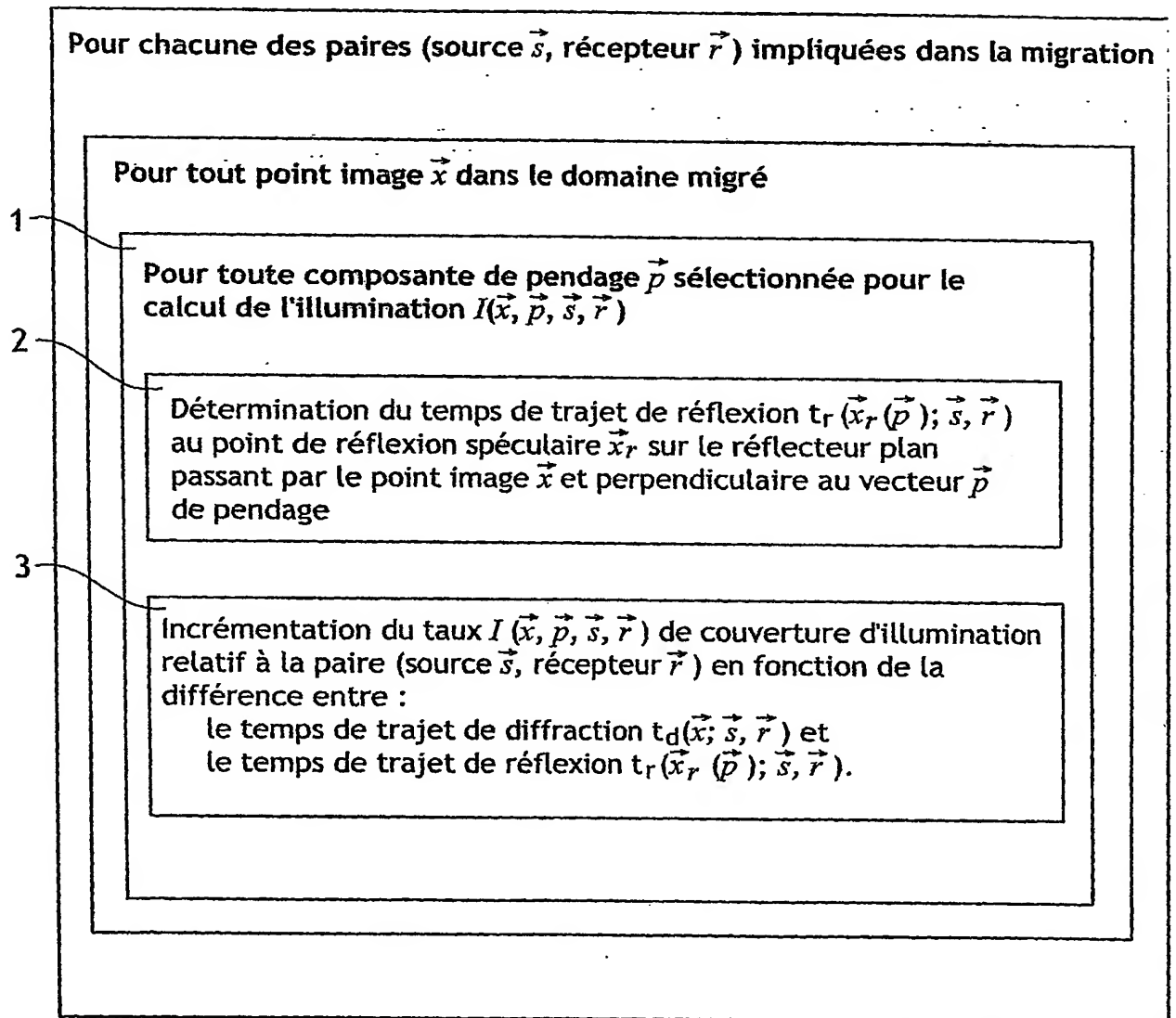


FIG.4

DÉPARTEMENT DES BREVETS

15, rue de Saint Pétersbourg

75000 Paris Cedex 08

phone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 94 86 54

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° .../...

(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)



Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W (30030)

références pour ce dossier (facultatif)	240550 D21190 JRC
D'ENREGISTREMENT NATIONAL	0308862

TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)

PROCÉDE D'ESTIMATION DU TAUX DE COUVERTURE D'ILLUMINATION DANS LE DOMAINE
FIGRE

DEMANDEUR(S) :

COMPAGNIE GENERALE DE GEOPHYSIQUE : 1, rue Léon Migaux 91300 MASSY FRANCE

SIGNATURE(S) EN TANT QU'INVENTEUR(S) : (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, lisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).

Nom		HERRMANN Philippe
Prénoms		
Adresse	Rue	1, avenue du Grand Parc 78450 VILLEPREUX FRANCE
	Code postal et ville	
Liété d'appartenance (facultatif)		
Nom		BOUSQUIE Nicolas
Prénoms		
Adresse	Rue	34, rue de Leuville 91310 LONGPONT SUR ORGE FRANCE
	Code postal et ville	
Liété d'appartenance (facultatif)		
Nom		
Prénoms		
Adresse	Rue	
	Code postal et ville	
Liété d'appartenance (facultatif)		

ET SIGNATURE(S)
(DES) DEMANDEUR(S)
DU MANDATAIRE
Nom et qualité du signataire)

13/07/04
g. 6102
h. 6102

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.